

OPTICAL AMPLIFIER AND OPTICAL AMPLIFYING METHOD

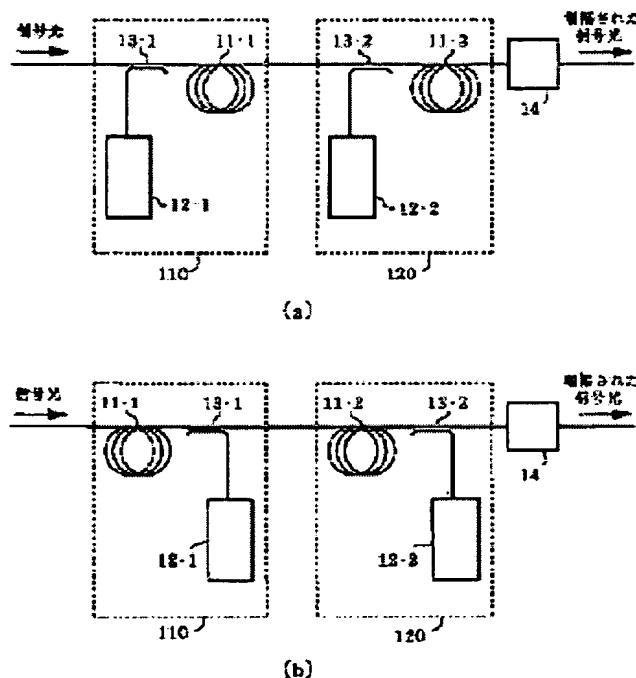
Patent number: JP7234423
Publication date: 1995-09-05
Inventor: YAMADA MAKOTO; SHIMIZU MAKOTO; OISHI YASUTAKE; SUDO SHOICHI
Applicant: NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE
Classification:
 - **international:** G02F1/35; C03B37/022; C03C4/00; C03C13/04;
 G02B6/00; G02B6/16; H01S3/07; H01S3/10
 - **europen:**
Application number: JP19940026802 19940224
Priority number(s): JP19940026802 19940224

[Report a data error here](#)

Abstract of JP7234423

PURPOSE: To provide an optical amplifier which is flat in amplification band and is low in cost and an optical amplifying method.

CONSTITUTION: This optical amplifier has active media 11-1 and 11-2 consisting of optical fibers formed by incorporating a rare earth element or transition metal having a laser transition level to core parts or clad parts, exciting light sources 12-1 and 12-2 for generating exciting light to excite these active media and amplifying sections 110 and 120 having multiplexing sections 13-1 and 13-2 and is provided with an optical isolator 14. The glass hosts of at least the two optical fibers incorporated with the rare earth element or transition metal among the optical fibers incorporated with the rare earth element or transition metal which are the active media vary from each other.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-234423

(43)公開日 平成7年(1995)9月5日

(51)Int.Cl.⁶
G 0 2 F 1/35
C 0 3 B 37/022
C 0 3 C 4/00
13/04
G 0 2 B 6/00

識別記号 501
府内整理番号
3 7 6 B

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平6-26802

(22)出願日 平成6年(1994)2月24日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 山田 誠

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 清水 誠

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 大石 泰丈

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 谷 善一 (外1名)

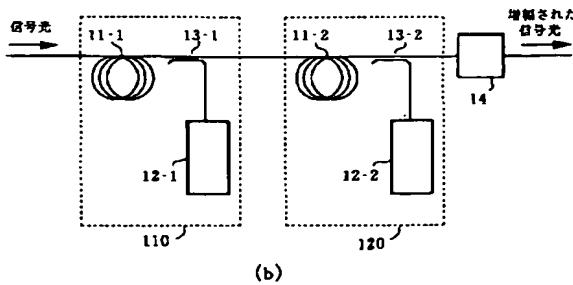
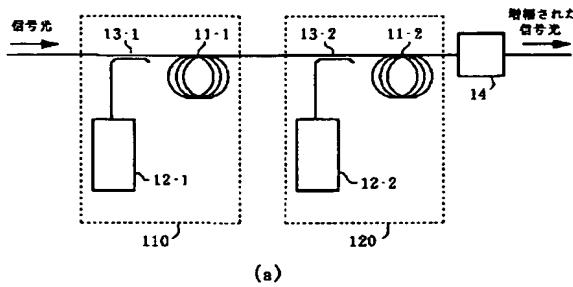
最終頁に続く

(54)【発明の名称】光増幅器および光増幅方法

(57)【要約】

【目的】増幅帯域の平坦かつ低価格な光増幅器および光増幅方法を提供することにある。

【構成】コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバからなる活性媒体11-1および11-2と、この活性媒体を励起する励起光を発生する励起光源12-1および12-2と、合波部110および120を有し、かつ光アイソレータ14を具備する光増幅器において、前記活性媒体である希土類元素または遷移金属添加・光ファイバの内の少なくとも2つの希土類元素または遷移金属添加・光ファイバのガラスホストが互いに異なる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバからなる活性媒体と、この活性媒体を励起する励起光を発生する励起光源と、この励起光源からの励起光および被增幅光を結合して前記活性媒体に導く光学手段とを有する増幅部を少なくとも2以上有し、かつ光アイソレータを具備する光増幅器において、

前記活性媒体である希土類元素または遷移金属添加・光ファイバの内の少なくとも2つの希土類元素または遷移金属添加・光ファイバのガラスホストが互いに異なることを特徴とする光増幅器。

【請求項2】 コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバからなる活性媒体と、前記活性媒体を励起する励起光源と、この励起光源からの励起光および被增幅光を結合して前記活性媒体に導く光学手段と、光アイソレータとを具備する光増幅器において、

前記活性媒体として、希土類元素または遷移金属添加・光ファイバを2以上接続して用い、その内の少なくとも2つの希土類元素または遷移金属添加・光ファイバのホストガラスが互いに異なることを特徴とする光増幅器。

【請求項3】 前記希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバとして、E_r添加石英系光ファイバ、E_r添加酸化物系多成分ガラスファイバ、E_r添加フッ化物系ガラスファイバの中から選択されたファイバを用いることを特徴とする請求項1または2記載の光増幅器。

【請求項4】 前記E_r添加石英系光ファイバが、共添加元素として、A₁、P、F、GeおよびBから選ばれる少なくとも1種を含有することを特徴とする請求項3記載の光増幅器。

【請求項5】 コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバからなる活性媒体と、この活性媒体を励起する励起光を発生する励起光源と、この励起光源からの励起光および被增幅光を結合して前記活性媒体に導く光学手段とを有する増幅部を少なくとも2以上有し、かつ光アイソレータを具備する光増幅器において、

前記活性媒体の内の少なくとも2つは、少なくとも一方が共添加元素を含有するE_r添加石英系光ファイバであり、両者がそれぞれ含有するときには前記共添加元素が互いに異なることを特徴とする光増幅器。

【請求項6】 コア部あるいはクラッド部にE_rを添加した石英系光ファイバからなる活性媒体と、この活性媒体を励起する励起光源と、この励起光源からの励起光および被增幅光を結合して前記活性媒体に導く光学手段と、光アイソレータとを具備する光増幅器において、

前記活性媒体として、少なくとも一方が共添加元素を添加したE_r添加石英系光ファイバである2以上のE_r添加光ファイバを接続した媒体を用い、前記共添加元素を

添加したE_r添加光ファイバが2以上ある場合にはその内の少なくとも2つが互いに異なる共添加元素を添加したE_r添加石英系光ファイバであることを特徴とする光増幅器。

【請求項7】 前記共添加元素が、A₁、P、F、GeおよびBから選ばれる少なくとも1種であることを特徴とする請求項5または6記載の光増幅器。

【請求項8】 コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバからなる活性媒体に、当該活性媒体の励起光と被增幅光とを結合して導いて当該被增幅光を增幅する光増幅方法において、

前記活性媒体として、希土類元素または遷移金属添加・光ファイバを2以上直列に配置して用い、その内の少なくとも2つの希土類元素または遷移金属添加・光ファイバのホストガラスが互いに異なることを特徴とする光増幅方法。

【請求項9】 前記希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバとして、E_r添加石英系光ファイバ、E_r添加酸化物系多成分ガラスファイバ、E_r添加フッ化物系ガラスファイバの中から選択されたファイバを用いることを特徴とする請求項8記載の光増幅方法。

【請求項10】 前記E_r添加石英系光ファイバが、共添加元素として、A₁、P、F、GeおよびBから選ばれる少なくとも1種を含有することを特徴とする請求項9記載の光増幅方法。

【請求項11】 コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバからなる活性媒体に、当該活性媒体の励起光と被增幅光とを結合して導いて当該被增幅光を增幅する光増幅方法において、

前記活性媒体として、少なくとも一方が共添加元素を添加したE_r添加石英系光ファイバである2以上のE_r添加光ファイバを直列に配置した媒体を用い、前記共添加元素を添加したE_r添加光ファイバが2以上ある場合にはその内の少なくとも2つが互いに異なる共添加元素を添加したE_r添加石英系光ファイバであることを特徴とする光増幅方法。

【請求項12】 前記共添加元素が、A₁、P、F、GeおよびBから選ばれた少なくとも1種であることを特徴とする請求項11記載の光増幅方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信および光計測の分野において必要となる光増幅器および光増幅方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 E_r添加光ファイバを用いたファイバ型光増幅器は、通信用石英ファイバの伝搬損失が最小となる1.5μm帯での光増幅が可能であり、偏波依存性が

無く、雑音特性が優れている等の特徴を有し、光通信の重要な部品である。

【0003】図8にE_r添加光ファイバを用いた増幅器の基本の構成（従来技術1）を示す。1は増幅媒体であるE_r添加光ファイバ、2-1および2-2はE_r添加光ファイバ1への励起光を発生する励起光源部であり、E_r添加光ファイバ1は、その前後に設けられた合波部3-1および3-2を介して励起光源部2-1および2-2と接続されている。また、合波部3-1は励起光源部2-1で発生された励起光と信号光とを合波してE_r添加光ファイバ1に導入し、増幅された信号光は合波部3-2から、光増幅器の発振を抑えるための光アイソレータ4を介して出射されるようになっている。通常、励起光源部2-1および2-2としては、0.98μmあるいは1.48μm帯発振の半導体レーザが用いられ、同図の増幅器はE_r添加光ファイバ1を両側から励起する双方向励起の構成を示す。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このような光ファイバ増幅器において、増幅帯域の拡大は光ファイバ増幅器の適用領域を広げるために必要不可欠な課題である。

【0005】このような課題に対して従来技術1に示す光ファイバ増幅器では、増幅媒体であるE_r添加光ファイバ1自体の増幅帯域特性を改善することが検討され、E_rを添加した石英系光ファイバにA1、またはA1およびPを共添加することが提案された（従来技術2）。

【0006】図9は、A1を共添加したE_r添加石英系光ファイバの増幅帯域特性の一例を示す。同図にはA1共添加しないE_r添加石英系光ファイバの特性も合わせて示す。A1を共添加しないE_r添加石英系光ファイバは信号波長1.536μmおよび1.552μmに鋭い増幅ピークがあるが、A1を添加することにより、信号波長1.552μmの増幅ピークが広がり増幅帯域特性が改善する。しかしながら本構成では増幅帯域を完全に平坦にすることは難しく、このため本光増幅器を多段に接続して構成した光通信システムにおいては、信号波長により光信号受信端での光信号強度が異なり、光通信システムを構成する場合の大きな問題であった。

【0007】図10は従来技術2の問題を解決するために考案された従来技術3の構成を示す(H. Toba et al., A 100-channel Optical FDM In-Line Amplifier system employing Tunable Gain Equalizers, ECOC'92, Tu A4.2, 1992)。本技術は従来技術2の光増幅部10に波長依存性を補償する波長等価器5を付加する構成である。

【0008】図11に従来技術3の動作原理を説明する図を示す。図11(a)は光増幅部10（従来技術2）の増幅特性、図11(b)は波長等価器5の損失特性、

図11(c)は波長等価器5を付加した光増幅器の増幅特性であり、光増幅部（従来技術1）の波長依存性を波長等価器の損失で打ち消し、増幅器の波長依存性を低減する。ただし、本技術はA1を共添加したE_r添加光ファイバの波長特性がほぼ直線的に変化する領域で用いられる。例えば、図9に示すA1共添加E_r添加光ファイバの特性では信号波長域1.520μm～1.527μm、1.535μm～1.539μm、1.542μm～1.554μmおよび1.560μm～1.570μmにおいて本技術を用いる。また、波長等価器5の設置場所は光増幅部10の前段および後段の両者が可能であるが、光増幅部10の前段に設置した場合の光増幅器10の雑音劣化を避けるため、通常、後段に設置される。波長等価器5としては図12(a)に示すような、4つの方向性結合器6を用いた3つのマッハツェンダ干渉回路からなる石英系光回路が用いられる。同図(b)に本等価器の特性を示す。かかる波長等価器で光増幅器の波長依存性を補償する場合、損失の変化が直線近似できる波長領域RおよびR'が使用される。しかし、本構成を用いた波長依存性の低減法は光ファイバ増幅器に波長等価器を付加しなければならないため、光ファイバ増幅の価格が向上するという欠点も合わせ持つ。

【0009】本発明は、かかる事情に鑑みなされたものであり、その目的は増幅帯域の平坦かつ低価格な光増幅器および光増幅方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成する本発明の第1の態様は、コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバからなる活性媒体と、この活性媒体を励起する励起光を発生する励起光源と、この励起光源からの励起光および被増幅光を結合して前記活性媒体に導く光学手段とを有する増幅部を少なくとも2以上有し、かつ光アイソレータを具備する光増幅器において、前記活性媒体である希土類元素または遷移金属添加・光ファイバの内の少なくとも2つの希土類元素または遷移金属添加・光ファイバのガラスホストが互いに異なることを特徴とする。

【0011】本発明の第2の態様は、コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバからなる活性媒体と、前記活性媒体を励起する励起光源と、この励起光源からの励起光および被増幅光を結合して前記活性媒体に導く光学手段と、光アイソレータとを具備する光増幅器において、前記活性媒体として、希土類元素または遷移金属添加・光ファイバを2以上接続して用い、その内の少なくとも2つの希土類元素または遷移金属添加・光ファイバのホストガラスが互いに異なることを特徴とする。

【0012】本発明の第3の態様は、第1または第2の態様において、前記希土類元素または遷移金属を添加し

た光ファイバとして、E_r添加石英系光ファイバ、E_r添加酸化物系多成分ガラスファイバ、E_r添加フッ化物系ガラスファイバの中から選択されたファイバを用いることを特徴とする。

【0013】本発明の第4の態様は、第3の態様において、前記E_r添加石英系光ファイバが、共添加元素として、A I, P, F, GeおよびBから選ばれる少なくとも1種を含有することを特徴とする。

【0014】本発明の第5の態様は、コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバからなる活性媒体と、この活性媒体を励起する励起光を発生する励起光源と、この励起光源からの励起光および被增幅光を結合して前記活性媒体に導く光学手段とを有する增幅部を少なくとも2以上有し、かつ光アイソレータを具備する光増幅器において、前記活性媒体内の少なくとも2つは、少なくとも一方が共添加元素を含有するE_r添加石英系光ファイバであり、両者がそれぞれ含有するときには前記共添加元素が互いに異なることを特徴とする。

【0015】本発明の第6の態様は、コア部あるいはクラッド部にE_rを添加した石英系光ファイバからなる活性媒体と、この活性媒体を励起する励起光源と、この励起光源からの励起光および被增幅光を結合して前記活性媒体に導く光学手段と、光アイソレータとを具備する光増幅器において、前記活性媒体として、少なくとも一方が共添加元素を添加したE_r添加石英系光ファイバである2以上のE_r添加光ファイバを接続した媒体を用い、前記共添加元素を添加したE_r添加光ファイバが2以上ある場合にはその内の少なくとも2つが互いに異なる共添加元素を添加したE_r添加石英系光ファイバであることを特徴とする。

【0016】本発明の第7の態様は、第5または第6の態様において、前記共添加元素が、A I, P, F, GeおよびBから選ばれる少なくとも1種であることを特徴とする。

【0017】本発明の第8の態様は、コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバからなる活性媒体に、当該活性媒体の励起光と被增幅光とを結合して導いて当該被增幅光を增幅する光増幅方法において、前記活性媒体として、希土類元素または遷移金属添加・光ファイバを2以上直列に配置して用い、その内の少なくとも2つの希土類元素または遷移金属添加・光ファイバのホストガラスが互いに異なることを特徴とする。

【0018】本発明の第9の態様は、第8の態様において、前記希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバとして、E_r添加石英系光ファイバ、E_r添加酸化物系多成分ガラスファイバ、E_r添加フッ化物系ガラスファイバの中から選択されたファイバを用いることを特徴とする。

【0019】本発明の第10の態様は、第9の態様において、前記E_r添加石英系光ファイバが、共添加元素として、A I, P, F, GeおよびBから選ばれる少なくとも1種を含有することを特徴とする。

【0020】本発明の第11の態様は、コア部あるいはクラッド部にレーザ遷移準位を有する希土類元素または遷移金属を添加した光ファイバからなる活性媒体に、当該活性媒体の励起光と被增幅光とを結合して導いて当該被增幅光を增幅する光増幅方法において、前記活性媒体として、少なくとも一方が共添加元素を添加したE_r添加石英系光ファイバである2以上のE_r添加光ファイバを直列に配置した媒体を用い、前記共添加元素を添加したE_r添加光ファイバが2以上ある場合にはその内の少なくとも2つが互いに異なる共添加元素を添加したE_r添加石英系光ファイバであることを特徴とする。

【0021】本発明の第12の態様は、第11の態様において、前記共添加元素が、A I, P, F, GeおよびBから選ばれた少なくとも1種であることを特徴とする。

【0022】本発明の最大の特徴は、增幅媒体として2種以上のファイバガラス組成の異なるE_r添加光ファイバまたは互いに共添加元素が異なるE_r添加石英系光ファイバを直列に配置して用いることにより、従来技術と比べ、波長特性を平坦化するための付加的な光部品である波長等価器を用いない点にある。

【0023】以下に図面を用いて本発明を説明する。

【0024】図1(a)に本発明1の基本構成を示す。11-1および11-2は増幅媒体であるE_r添加光ファイバを示し、11-1と11-2とは、それぞれファイバのガラス組成が異なる。12-1および12-2はE_r添加光ファイバ11-1あるいは11-2への励起光を発生する励起光源部、13-1および13-2は信号光と励起光源部12-1および12-2で発生された励起光を合波する合波部、14は光増幅器の発振を抑えるための光アイソレータである。かかる構成では、E_r添加光ファイバ増幅器11-1および11-2を接続したものが活性媒体となり、該活性媒体が双方向励起される。信号光および励起光源部12-1からの励起光は、合波部13-1で合波されてE_r添加光ファイバ増幅器11-1に入射され、励起光源部12-2からの励起光は、合波部13-2で合波されてE_r添加光ファイバ増幅器11-2に逆方向から入射される。そして、E_r添加光ファイバ増幅器11-1の出射光はE_r添加光ファイバ11-2に入射し、E_r添加光ファイバ増幅器11-2からの出射光は合波器13-2および光アイソレータ14を介して出射されるようになっている。

【0025】一般に、E_r添加光ファイバ増幅器の増幅帯域特性はE_r元素を添加するガラスホストにより異なる。図2は、A I共添加E_r添加石英系光ファイバおよびE_r添加多成分ガラスファイバの一類であるアルミ

ノケイ酸塩ガラスファイバの増幅帯域特性の一例を示す。A1共添加Er添加石英系光ファイバのファイバ長は30m、比屈折率差は0.7%、カットオフ波長は1.27μm、A1添加濃度は10000ppm、Er添加濃度は200ppm、またアルミノケイ酸塩ガラスファイバのガラス組成はSiO₂(65.3wt%) - A1₂O₃(4.9wt%) - Li₂O(2.8wt%) - Na₂O(18wt%) - MgO(2.2wt%) - CaO(6.5wt%) - Sb₂O₃(0.3wt%)、ファイバ長は80cm、比屈折率差は0.7%、カットオフ波長は1.1μm、Er添加濃度は1000ppmであり、同特性の励起波長は1.48μmである。A1共添加Er添加石英系光ファイバ信号波長域1.540～1.558μmにおいて信号利得は波長に対して正の傾きを有する。一方、アルミノケイ酸塩ガラスファイバは励起光量20mw以上において、信号波長域1.543～1.559μmにおいて信号利得は波長に対して負の傾きを有する。一般的に、Er添加光ファイバの増幅帯域特性は光ファイバのガラス組成に強く依存するため、上記に示すような差異が生じ、本発明はこの違いを有効に利用するものである。

【0026】従って、本発明の上述した構成の光ファイバ増幅器あるいはこれを用いた光増幅方法では、光ファイバ増幅器が増幅特性の異なる2つの光増幅部100Aおよび100Bにより構成されていると等価的にみなせるため、前段の増幅部100Aの増幅媒体としてA1共添加Er添加石英系光ファイバを、後段の増幅部100Bの増幅媒体としてアルミノケイ酸塩ガラスファイバを用いることにより、図1(b)に示すように増幅部100Aの波長依存性を増幅部100Bで補償し、光ファイバ増幅器の波長特性を平坦化できる。なお、上記例は双方向励起となっているが、励起光源12-2および12-2の何れかを省略した一方向励起でも実施できることは言うまでもない。

【0027】上記説明では石英系Er添加ファイバとしてA1共添加Er添加石英系光ファイバ、酸化物系多成分ファイバとしてアルミノケイ酸塩ガラスファイバを例に本発明を説明したが、石英系Er添加ファイバとして、P、F、Ge、B等を共添加した石英系ファイバ、あるいは共添加していないEr添加石英系ファイバを用いても同様に、ガラス組成により異なる増幅特性を得ることができ、これは図9などからも明らかである。また、ガラスホストの異なるEr添加光ファイバとしては、Er添加酸化物系多成分ガラスファイバとしてのリン酸塩ガラスファイバ、フツリン酸塩ガラスファイバなど、またはZr系あるいはLn系フッ化物系ガラスファイバ等を用いることも十分可能である。

【0028】なお、組成の異なる光ファイバ同士等の接続部は、融着接続、突き合わせ接続(バットジョイント接続)、光コネクタを用いた接続、V溝を用いた接続等

により、光学的に接続してあればよい。

【0029】さらに、Er添加石英系光ファイバにおいては、共添加すること、または共添加元素を変えることによりその増幅特性が変わることは、図9からも明らかである。したがって、Er添加光ファイバ増幅器11-1および11-2として、共添加しない、およびA1、P、F、Ge、B等の元素を共添加したEr添加光ファイバの中から異なる2種を選択して用いても、互いに異なる増幅特性を有する増幅部とすることができます。これによって、増幅部の増幅特性が互いに補償し合い、全体の増幅特性を同様に平坦化できる。

【0030】また、本発明では図3(a)、(b)に示すように、増幅特性の異なるEr添加光ファイバ増幅器に、それぞれの励起光源からの励起光を光学手段をそれぞれ導入するようにした増幅部を、直列に配置するようにして同等の特性を得ることができる。すなわち、Er添加光ファイバ増幅器11-1および11-2には、それぞれ励起光源12-1および12-2で発生された励起光が合分波器13-1および13-2を介して導入される構成となっており、それぞれ光増幅部110および120を構成している。そして、光増幅部110および120を直列に配置して光増幅器を構成している。

【0031】図3に示す構成では、各増幅部110および120は、それぞれ一方向励起となっているが、それぞれ双方向励起としてもよく、また、励起光の導入方向も限定されない。さらに、光アイソレータ14の位置も特に限定されず、勿論、増幅部が3つ以上直列に配置されていてもよい。

【0032】かかる構成の光増幅器あるいはこれを用いた光増幅方法でも、上述した場合と同様に、各増幅部が波長依存性を互いに補償し、増幅特性を平坦化できる。

【0033】本発明は量産性に優れる光ファイバを波長等価用の光ファイバとして用いるため、従来技術で用いた波長等価器付加に比べ、光増幅器の価格低減が図れる特徴を有する。

【0034】

【実施例】以下に図面を参照し本発明をより具体的に詳述するが、以下に開示する実施例は本発明の単なる例示に過ぎず、本発明の範囲を何等限定するものではない。

【0035】(実施例1) 図1を用いて実施例1を説明する。Er添加光ファイバ11-1として、A1共添加Er添加石英系光ファイバ(ファイバ長30m、比屈折率差0.7%、カットオフ波長1.27μm、A1添加濃度10000ppm、Er添加濃度200ppm)、Er添加光ファイバ11-2として、アルミノケイ酸塩ガラスファイバ(ガラス組成SiO₂(65.3wt%) - A1₂O₃(4.9wt%) - Li₂O(2.8wt%) - Na₂O(18wt%) - MgO(2.2wt%) - CaO(6.5wt%) - Sb₂O₃(0.3wt%)、ファイバ長80cm、比屈折率差0.7%、

カットオフ波長 $1.1\mu\text{m}$ 、 E_r 添加濃度 $\sim 10000\text{ ppm}$ を用い、励起光源 $12-1$ および $12-2$ としては E_r 添加光ファイバ $11-1$ および $11-2$ への励起光を発生する $1.48\mu\text{m}$ 帯発振の励起用半導体レーザモジュールを用いた。また、合波器 $13-1$ および $13-2$ としては、信号光($1.530\mu\text{m} \sim 1.580\mu\text{m}$)と励起光源 $12-1$ および $12-2$ で発生された励起光波長帯($1.45\mu\text{m} \sim 1.500\mu\text{m}$)の光とを合波するバルク型の合波器、光アイソレータ 14 としては、光増幅器の発振を抑えるための偏波無依存型の光アイソレータを用いた。

【0036】図4に作成したファイバ型光増幅器の利得帯域特性を示す。励起光量は○が前方向側(励起光源 $12-1$)から 30mW 、後方向側(励起光源 $12-2$)から 3mW 、○の黒塗りが前方向側から 24mW 、後方向側から 6mW 、△が前方向側から 17mW 、後方向側から 10mW である。各々の励起条件下で、信号波長域 $1.543 \sim 1.560\mu\text{m}$ において信号利得の平坦化(信号利得の変化量 $\pm 0.5\text{dB}$ 以下)が実現できた。

【0037】ただし、本実施例1では光アイソレータ 14 の接続位置は増幅部 $100B$ の出力側であるが、その位置を増幅部 $100A$ の入力側においても同じ実験結果を得た。さらに、光アイソレータ 14 の接続位置を増幅部 $100B$ の出力側と増幅部 $100A$ の入力側の両者に設置しても同様の実験結果を得た。

【0038】(実施例2)図3(a)を用いて実施例2を説明する。 E_r 添加光ファイバ $11-1$ として、 A_1 共添加 E_r 添加石英系光ファイバ(ファイバ長 30cm 、比屈折率差 0.7% 、カットオフ波長 $1.27\mu\text{m}$ 、 A_1 添加濃度 10000ppm 、 E_r 添加濃度 200ppm)、 E_r 添加光ファイバ $11-2$ として、アルミニノケイ酸塩ガラスファイバ(ファイバ長 80cm 、比屈折率差 0.7% 、カットオフ波長 $1.1\mu\text{m}$ 、 E_r 添加濃度 10000ppm)を用い、励起光源 $12-1$ および $12-2$ として、 $1.48\mu\text{m}$ 帯発振の励起用半導体レーザモジュールを用いた。また、合波器 $13-1$ および $13-3$ としては、信号光($1.530\mu\text{m} \sim 1.580\mu\text{m}$)と励起光源 $12-1$ および $12-2$ で発生された励起光波長帯($1.45\mu\text{m} \sim 1.500\mu\text{m}$)の光を合波するバルク型の合波器、光アイソレータ 14 としては、光増幅器の発振を抑えるための偏波無依存型の光アイソレータを用いた。

【0039】図5に作成したファイバ型光増幅器の利得帯域特性を示す。励起光量は励起光源 $12-1$ から 20mW 、励起光源 $12-2$ から 22mW である。各々の励起条件下で、信号波長域 $1.545 \sim 1.557\mu\text{m}$ において信号利得の平坦化(信号利得の変化量 $\pm 0.5\text{dB}$ 以下)が実現できた。

【0040】ただし、本実施例2では光アイソレータ 14 の接続位置は増幅部 $100B$ の出力側であるが、その位置を増幅部 $100A$ の入力側においても同じ実験結果を得た。さらに、光アイソレータ 14 の接続位置を増幅部 $100B$ の出力側と増幅部 $100A$ の入力側の両者に

設置を増幅部 110 の入力側あるいは、増幅部 110 と増幅部 120 の間に設置しても同じ実験結果を得た。さらに、光アイソレータ 14 の接続位置を増幅部 120 の出力側と増幅部 110 の入力側においても同様の実験結果を得た。

【0041】(実施例3)増幅器の構成は実施例1と同様に図1(a)を用いた。本実施例では E_r 添加光ファイバ $11-1$ のファイバとして A_1 共添加 E_r 添加石英系光ファイバ(ファイバ長 30m 、比屈折率差 0.7% 、カットオフ波長 $1.27\mu\text{m}$ 、 A_1 添加濃度 10000ppm 、 E_r 添加濃度 200ppm)、 E_r 添加光ファイバ $11-2$ のファイバとしてフッ化物ガラスファイバ(ファイバ長 80cm 、比屈折率差 0.6% 、カットオフ波長 $0.9\mu\text{m}$ 、 E_r 添加濃度 $\sim 10000\text{ppm}$)を用いて両者を組み合わせたものを活性媒体とした。また、 E_r 添加光ファイバ $11-1$ としてアルミニノケイ酸塩ガラスファイバ(ファイバ長 80cm 、比屈折率差 0.7% 、カットオフ波長 $1.1\mu\text{m}$ 、 E_r 添加濃度 10000ppm)、 E_r 添加ファイバ $11-2$ のファイバとして Zr 系フッ化物ガラスファイバ(ファイバ長 80cm 、比屈折率差 0.6% 、カットオフ波長 $0.9\mu\text{m}$ 、 E_r 添加濃度 10000ppm)を用いて両者を組み合わせたものを活性媒体として用いた。さらに、励起光源 $12-1$ および $12-2$ としては $1.48\mu\text{m}$ 帯発振の励起用半導体レーザモジュール、合波器 $13-1$ および $13-2$ としては信号光($1.53\mu\text{m} \sim 1.580\mu\text{m}$)と励起光源 $12-1$ および $12-2$ で発生された励起光波長帯($1.45\mu\text{m} \sim 1.500\mu\text{m}$)の光を合波するバルク型の合波器、光アイソレータ 14 としては光増幅器の発振を抑えるための偏波無依存型の光アイソレータを用いた。

【0042】 E_r 添加光ファイバ $11-1$ のファイバとしての A_1 共添加 E_r 添加石英系光ファイバと、 E_r 添加光ファイバ $11-2$ としてのフッ化物ガラスファイバとを組み合わせたものでは、信号波長域 $1.549 \sim 1.556\mu\text{m}$ (信号利得 15dB 、励起光量は励起光源 $12-1$ から 20mW 、励起光源 $12-2$ から 5mW)において、また、 E_r 光ファイバ $11-1$ としてのアルミニノケイ酸塩ガラスファイバと、 E_r 添加光ファイバ $11-2$ としての Zr 系フッ化物ガラスを組み合わせたものでは、信号波長域 $1.550 \sim 1.559\mu\text{m}$ (信号利得 15dB 、励起光量は励起光源 $12-1$ から 22mW 、励起光源 $12-2$ から 15mW)において、それぞれ信号利得の平坦化(信号利得の変化量 $\pm 0.5\text{dB}$ 以下)が実現できた。

【0043】ただし、本実施例3では光アイソレータ 14 の接続位置は増幅部 $100B$ の出力側であるが、その位置を増幅部 $100A$ の入力側においても同じ実験結果を得た。さらに、光アイソレータ 14 の接続位置を増幅部 $100B$ の出力側と増幅部 $100A$ の入力側の両者に

設置しても同様の実験結果を得た。

【0044】(実施例4)増幅器の構成は実施例1と同様に図1(a)を用いた。本実施例ではEr添加光ファイバ11-1としてのA1共添加石英系光ファイバ(ファイバ長30m、比屈折率差0.7%、カットオフ波長1.27μm、A1添加濃度10000ppm、Er添加濃度200ppm)と、Er添加光ファイバ11-2としてのP共添加石英系光ファイバ(ファイバ長50m、比屈折率差0.7%、カットオフ波長1.1μm、P添加濃度10000ppm、Er添加濃度50ppm)を組み合わせたものを用いた。また、励起光源12-1および12-2としては、1.48μm帯発振の励起用半導体レーザモジュール、合波器13としては、信号光(1.530μm～1.580μm)と励起光源12-1および12-2で発生された励起光波長帯(1.45μm～1.500μm)の光とを合波するバルク型の合波器、光アイソレータ14としては、光増幅器の発振を抑えるための偏波無依存型の光アイソレータを用いた。

【0045】本増幅器により信号波長域1.545～1.552μm(信号利得15dB、励起光量は励起光源12-1から15mW、励起光源12-2から9mW)において信号利得の平坦化(信号利得の変化量±0.5dB以下)が実現できた。

【0046】ただし、本実施例4では光アイソレータ14の接続位置は増幅部100Bの出力側であるが、その位置を増幅部100Aの入力側においても同じ実験結果を得た。さらに、光アイソレータ14の接続位置を増幅部100Bの出力側と増幅部100Aの入力側の両者に設置しても同様の実験結果を得た。

【0047】(実施例5)図6を用いて実施例5を説明する。Er添加光ファイバ11-1として、A1共添加Er添加石英系光ファイバ(ファイバ長16m、比屈折率差0.7%、カットオフ波長1.27μm、A1添加濃度10000ppm、Er添加濃度200ppm)、Er添加光ファイバ11-2として、アルミノケイ酸塩ガラスファイバ(ガラス組成SiO₂(65.3wt%) - Al₂O₃(4.9wt%) - Li₂O(2.8wt%) - Na₂O(18wt%) - MgO(2.2wt%) - CaO(6.5wt%) - Sb₂O₃(0.3wt%)、ファイバ長80cm、比屈折率差0.7%、カットオフ波長1.1μm、Er添加濃度10000ppm)、Er添加光ファイバ11-3として、Zr系フッ化物ガラスファイバ(ファイバ長50cm、比屈折率差0.6%、カットオフ波長0.9μm、Er添加濃度10000ppm)をそれぞれ用いた。また、励起光源12-1および12-2としては、Er添加光ファイバ11-1および11-2への励起光を発生する1.48μm帯発振の励起用半導体レーザモジュール、合波器13-1および13-2としては、信号光(1.530μm～1.580μm)と、励起光源12-1および12-2で発生された励起光波長帯(1.45μm～1.500μm)の光とを合波するバルク型の合波器、光アイソレータ14としては、光増幅器の発振を抑えるための偏波無依存型の光アイソレータを用いた。

2としては、信号光(1.530μm～1.580μm)と、励起光源12-1および12-2で発生された励起光波長帯(1.45μm～1.500μm)の光とを合波するバルク型の合波器、光アイソレータ14としては、光増幅器の発振を抑えるための偏波無依存型の光アイソレータを用いた。

【0048】本増幅器により信号波長域1.540～1.557μm(信号利得22dB、励起光量は励起光源12-1から20mW、励起光源12-2から13mW)において信号利得の平坦化(信号利得の変化量±0.5dB以下)が実現できた。

【0049】ただし、本実施例5では光アイソレータ14の接続位置は増幅器の出力側であるが、その位置を増幅器の入力側においても同じ実験結果を得た。さらに、光アイソレータ14の接続位置を増幅器の出力側と増幅器の入力側の両者に設置しても同様の実験結果を得た。

【0050】(実施例6)図6を用いて実施例6を説明する。Er添加光ファイバ11-1として、A1共添加Er添加石英系光ファイバ(ファイバ長16m、比屈折率差0.7%、カットオフ波長1.27μm、A1添加濃度10000ppm、Er添加濃度200ppm)、

Er添加光ファイバ11-2として、アルミノケイ酸塩ガラスファイバ(ガラス組成SiO₂(65.3wt%) - Al₂O₃(4.9wt%) - Li₂O(2.8wt%) - Na₂O(18wt%) - MgO(2.2wt%) - CaO(6.5wt%) - Sb₂O₃(0.3wt%)、ファイバ長80cm、比屈折率差0.7%、カットオフ波長1.1μm、Er添加濃度10000ppm)、Er添加光ファイバ11-3として、Zr系フッ化物ガラスファイバ(ファイバ長50cm、比屈折率差0.6%、カットオフ波長0.9μm、Er添加濃度10000ppm)をそれぞれ用いた。また、励起光源12-1および12-2としては、Er添加光ファイバ11-1および11-2への励起光を発生する1.48μm帯発振の励起用半導体レーザモジュール、合波器13-1および13-2としては、信号光(1.530μm～1.580μm)と、励起光源12-1および12-2で発生された励起光波長帯(1.45μm～1.500μm)の光とを合波するバルク型の合波器、光アイソレータ14としては、光増幅器の発振を抑えるための偏波無依存型の光アイソレータを用いた。

【0051】本増幅器により信号波長域1.545～1.555μm(信号利得20dB、励起光量は励起光源12-1から19mW、励起光源12-2から10mW)において信号利得の平坦化(信号利得の変化量±0.5dB以下)が実現できた。

【0052】ただし、本実施例6では光アイソレータ14の接続位置は増幅器の出力側であるが、その位置を増幅器の入力側においても同じ実験結果を得た。さらに、光アイソレータ14の接続位置を増幅器の出力側と増幅

器の入力側の両者に設置しても同様の実験結果を得た。【0053】(実施例7)図7を用いて実施例7を説明する。Er添加光ファイバ11-1として、A1共添加Er添加石英系光ファイバ(ファイバ長30m、比屈折率差0.7%、カットオフ波長1.27μm、A1添加濃度10000ppm、Er添加濃度200ppm)、Er添加光ファイバ11-2として、アルミノケイ酸塩ガラスファイバ(ファイバ長80cm、比屈折率差0.7%、カットオフ波長1.1μm、Er添加濃度10000ppm)、Er添加光ファイバ11-3として、Zr系フッ化物ガラスファイバ(ファイバ長50cm、比屈折率差0.6%、カットオフ波長0.9μm、Er添加濃度~10000ppm)をそれぞれ用いた。また、励起光源12-1、12-2および12-3としては、1.48μm帯発振の励起用半導体レーザモジュール、合波器13-1、13-2および13-3としては、信号光(1.530μm~1.580μm)と、合波器12-1、12-2および12-3で発生された励起光波長帯(1.45μm~1.500μm)の光を合波するバルク型の合波器、光アイソレータ14としては、光増幅器の発振を抑えるための偏波無依存型の光アイソレータを用いた。

【0054】本増幅器により信号波長域1.544~1.556μm(信号利得18dB、励起光量は励起光源12-1から12mW、励起光源12-2から6mW、励起光源12-3から5mW)において信号利得の平坦化(信号利得の変化量±0.4dB以下)が実現できた。

【0055】なお、実施例6および7は、異なるファイバを3つ接続した例を示したが、4つ以上接続しても同様な効果が得られた。

【0056】従って上記実施例1、2、3、4、5、6および7の結果より、本発明が光ファイバ増幅器の増幅帯域特性の平坦化に非常に有効であることが確認できた。

【0057】以上の実施例では、励起光源として1.48μm帯LDを使用したが本実施例に限定するものではなく、この他の励起波長帯(0.5、0.64および0.8μm、0.98μm等)、さらには固体レーザを使用しても同様の結果を得た。また、石英系Er添加ファイバとして、F、Ge、B等を共添加した石英系ファイバ、Er添加酸化物系多成分ガラスファイバとしてリン酸塩ガラスファイバ、フツリン酸塩ガラスファイバまたはフッ化物ガラスファイバとしてIn系フッ化物系ガ

ラスファイバ等を用いることも十分可能である。また、以上の説明では光ファイバ増幅器としてErをドープしたもの用いたが、Erの他、Nd、Tmなどの従来から知られている希土類元素あるいは遷移元素をドープしたものを用いてもよいことは言うまでもない。

【0058】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は異なる蛍光特性を有する2種類の希土類元素または遷移金属添加・光ファイバ、または共添加元素が異なるEr添加石英系光ファイバを用いることにより、増幅帯域特性が平坦なファイバ型光増幅器および光増幅方法を提供できるという効果を奏する。すなわち、本発明は量産性に富む光ファイバにより、波長帯域特性の平坦化が実現でき、従来に比べ、付加的な波長等価器等の光部品を用いないため、ファイバ型光増幅器の低価格化が実現でき、低コストで光増幅を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明の一実施例にかかる光増幅器およびその特性を説明する図である。

【図2】図2は本発明の増幅器の増幅特性を説明する図である。

【図3】図3は本発明の他の実施例にかかる増幅器の構成を示す模式図である。

【図4】図4は実施例1の光ファイバ増幅器の増幅特性を示す図である。

【図5】図5は実施例2の光ファイバ増幅器の増幅特性を示す図である。

【図6】図6は実施例5および6を説明する光増幅器を示す模式図である。

【図7】図7は実施例7を説明する光増幅器を示す図である。

【図8】図8は従来技術1を説明する模式図である。

【図9】図9は従来技術2を説明する模式図である。

【図10】図10は従来技術3を説明する模式図である。

【図11】従来技術3の動作原理を説明する図である。

【図12】図10の波長等価器を説明する図である。

【符号の説明】

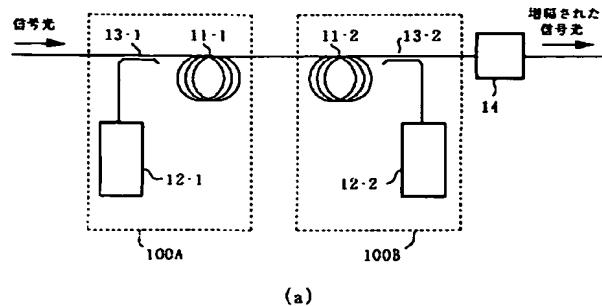
11-1、11-2、11-3 増幅媒体であるEr添加光ファイバ

12-1、12-2、12-3 励起光源部

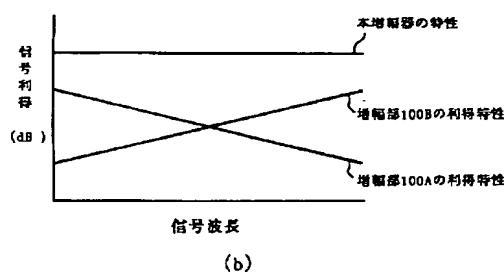
13-1、13-2、13-3 合波部

14 光アイソレータ

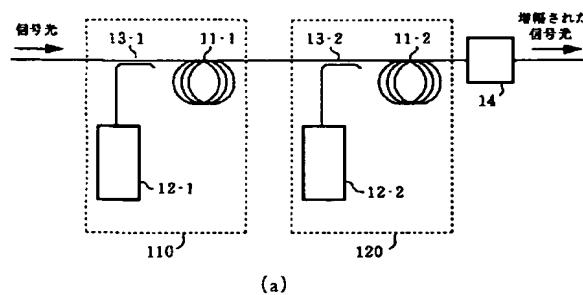
【図1】



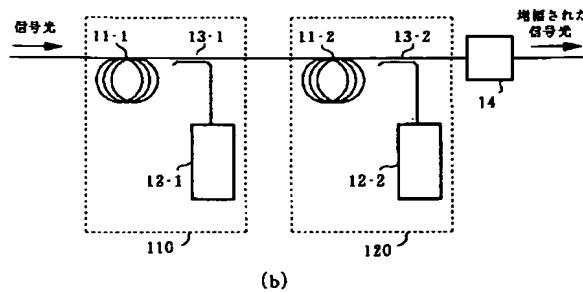
(a)



【図3】

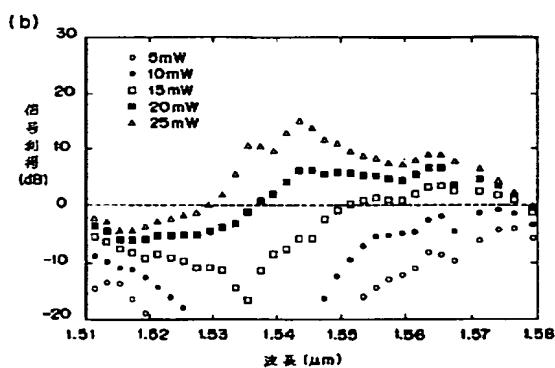
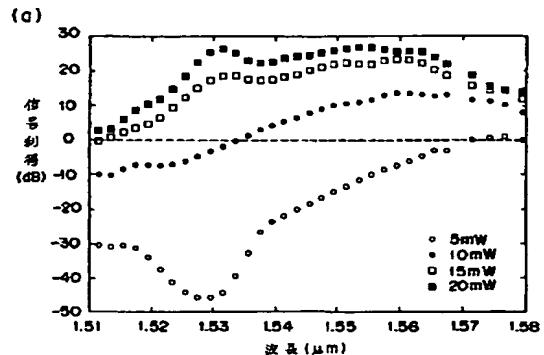


(a)

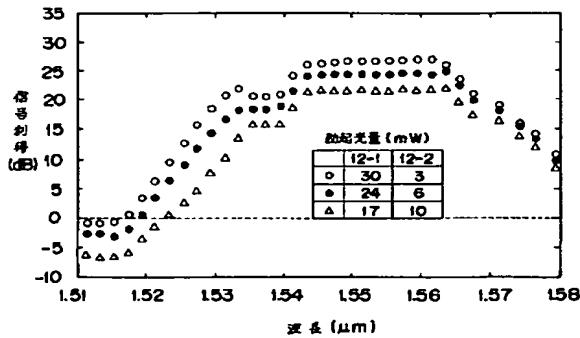


(b)

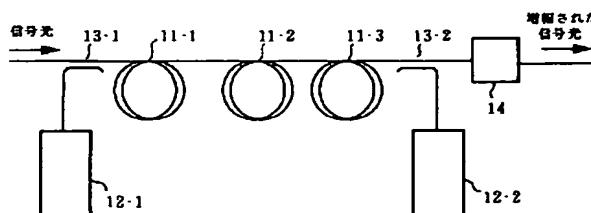
【図2】



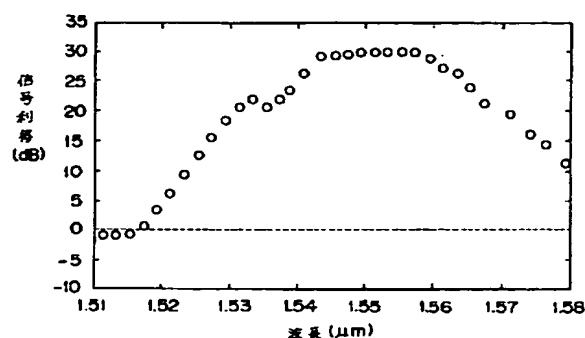
【図4】



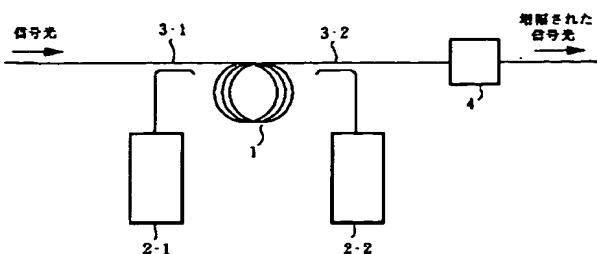
【図6】



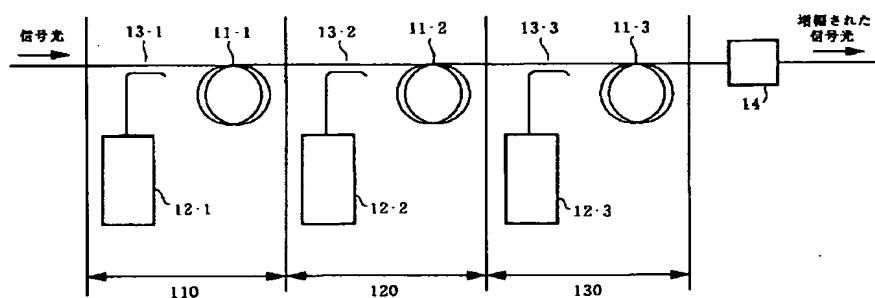
【図5】



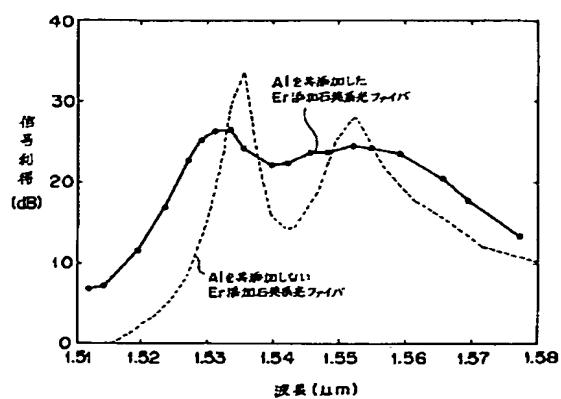
【図8】



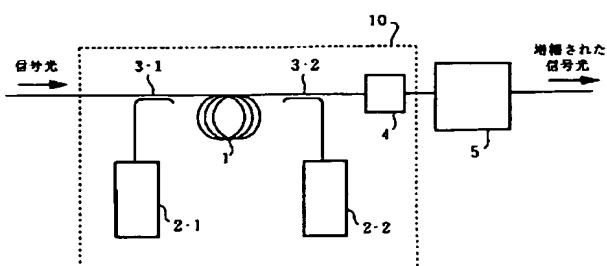
【図7】



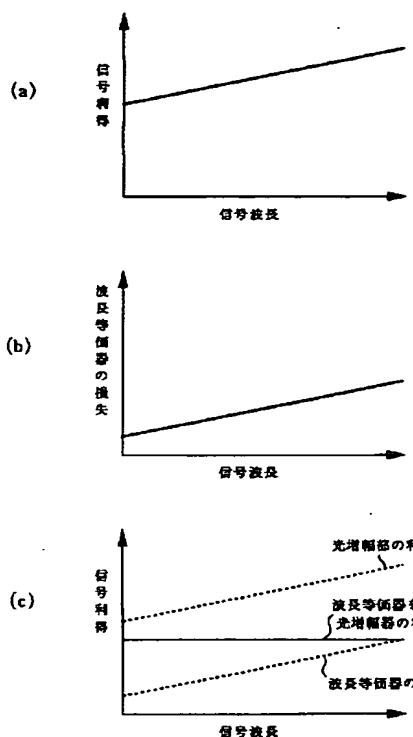
【図9】



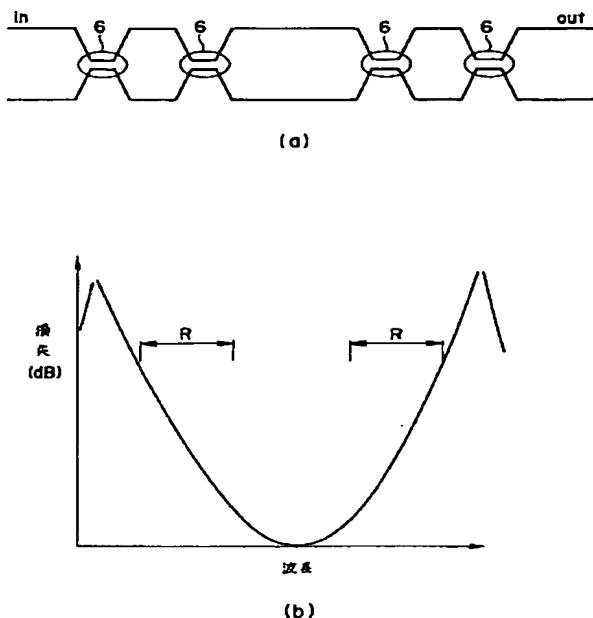
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(51) Int.CI. ⁶	識別記号	府内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 6/16				
H 0 1 S 3/07				
3/10	Z			

(72) 発明者 須藤 昭一
東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内